



Uso de Lodo de Esgotos no Solo: Segurança Sanitária e Produção Agrícola

Padrão de Qualidade Microbiológica do Lodo de Esgoto

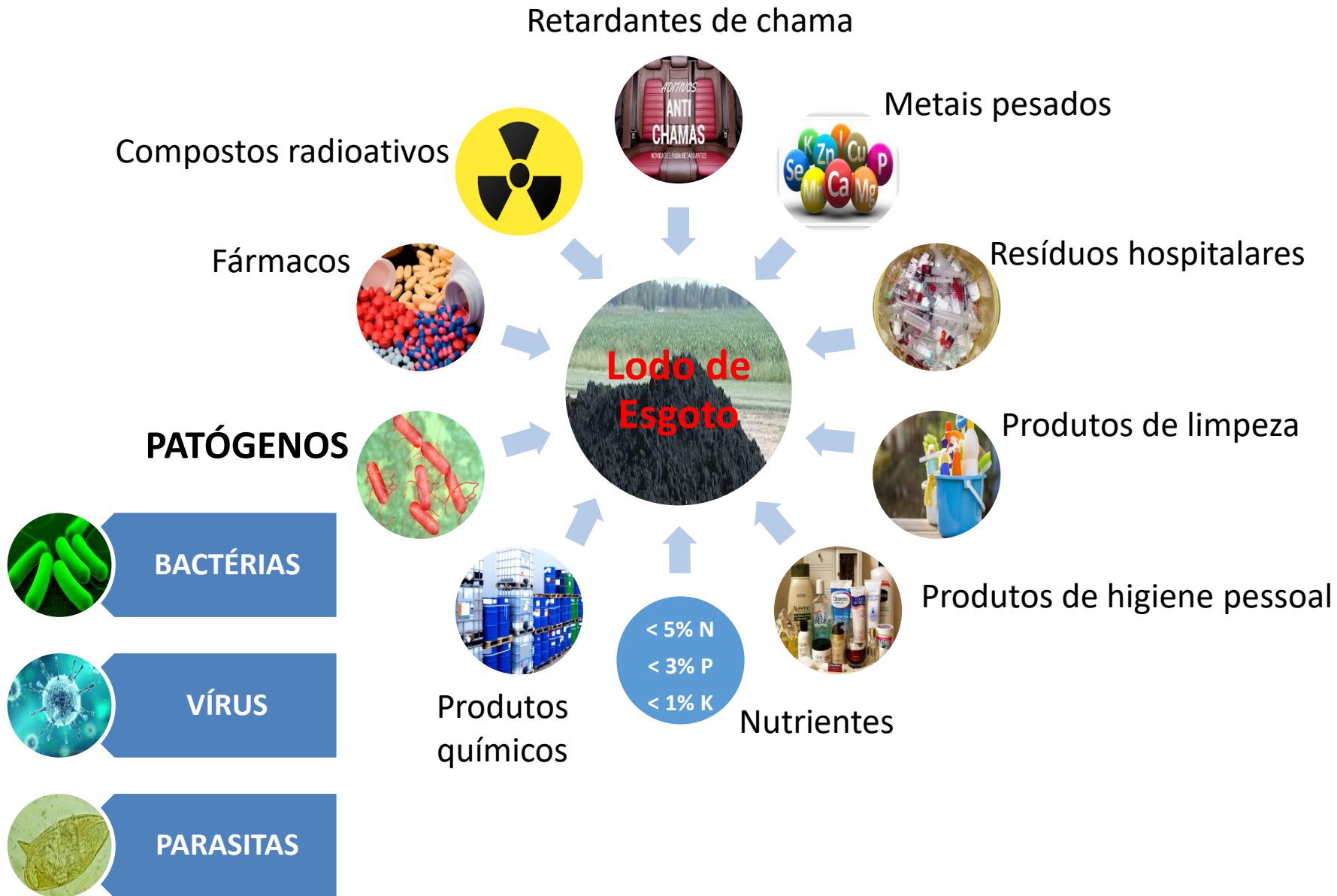
Maria Inês Zanolli Sato
Departamento de Análises Ambientais CETESB



19 a 21 de setembro, 2018
São Paulo, SP



CONTAMINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO



DENSIDADE DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS E INDICADORES EM LODO PRIMÁRIO

Tipo	Organismo	Densidade (Nº/g peso seco)
Vírus	Vários vírus entéricos	$10^2 - 10^4$
	Bacteriófagos	10^5
Bactéria	Coliformes totais	10^8-10^9
	Coliformes termotolerantes	10^7-10^8
	Streptococos fecais	10^6-10^7
	<i>Salmonella</i> sp	10^2-10^3
	<i>Clostridium</i> sp	10^6
	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10^6
Protozoa	<i>Giardia</i> sp	10^2-10^3
Helmintos	<i>Ascaris</i> sp	10^2-10^3
	<i>Trichiuris vulpis</i>	10^2
	<i>Toxocara</i> sp	10^1-10^2

CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO



Lodo



Lodo + Solo



Alimento



Ingestão

Ingestão do Lodo
Agricultor

Ingestão do Lodo
Incorporado ao Solo
***Agricultor e
Crianças***

Ingestão de alimentos
cultivados em solos
adubados com lodo de
esgoto
População em Geral

CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO

I

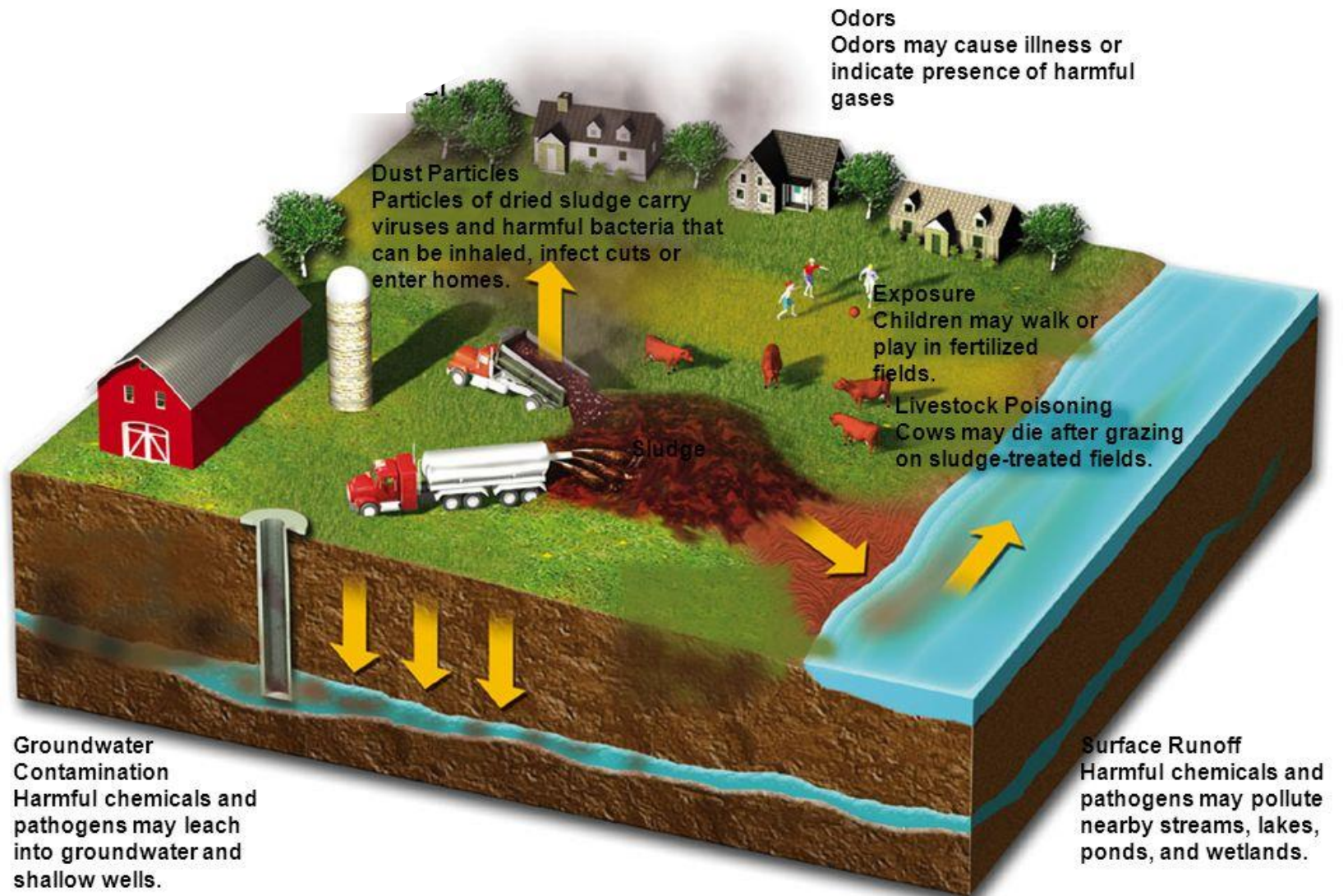


Aerosóis

Inalação de aerossóis no momento da aplicação

População exposta: agricultores / crianças / vizinhança

RISCOS ASSOCIADOS A APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO NO SOLO



REMOÇÃO DE PATÓGENOS DURANTE O TRATAMENTO DE ESGOTO

Organismos	Vírus entéricos	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Esgoto Bruto	$10^5 - 10^6$	$5 \cdot 10^3 - 8 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$	$1 - 4 \cdot 10^3$
Remoção (%) Tratamento Primário	50 - 98,3	95,8 - 99,8	27 - 64	0,7
(Nº/L remanescente) ^a	$1,7 \times 10^3 - 5 \times 10^5$	160 - 3,360	$7,2 \times 10^3 - 1,5 \times 10^4$	
Remoção (%) Tratamento Secundário	53 - 99,92	98,65 - 99,996	45 - 96,7	-
(Nº/L remanescente) ^b	$80 - 4,7 \times 10^5$	3 - 1,075	$6,5 \times 10^3 - 1,1 \times 10^5$	
Remoção (%) Tratamento Secundário	99,983 - 99,9999998	99,99 - 99,999999995	98,5 - 99,99995	2,7 ^d
(Nº/L remanescente) ^c	0,007 - 170	0,000004 - 7	0,099 - 2,951	

a. Sedimentação Primária e desinfecção; b. Sedimentação primária, filtro biológico ou lodo ativado, e desinfecção; c. Sedimentação primária, filtro biológico ou lodo ativado, desinfecção, coagulação, filtração e desinfecção, d. filtração somente

REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

ESTADOS UNIDOS - USEPA

- 40 CFR Part 503 – Standards for the use or disposal of sewage sludge: *Publicada em Fevereiro 1993; Revisada pela NRC, NAS em 2002*

NOVA ZELÂNDIA – Ministry of Environment / New Zealand Water & Wastes Association

- Guidelines for the safe application of biosolids to land in New Zealand, 2003: *Em revisão*

AUSTRÁLIA - Natural Resource Management Ministerial Council

- Guidelines for Sewerage Systems Biosolids Management, 2004
- Vários estados tem regulamentação própria

ESTADOS UNIDOS – USEPA, 40 CFR Part 503 REQUERIMENTOS PARA REDUÇÃO DE PATÓGENOS

LODO CLASSE A

LODO CLASSE B

**CLASSE A = CLASSE B + RESTRIÇÃO DE
ÁREAS + PRÁTICAS DE MANEJO**

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE A

- < 1.000 NMP. g⁻¹ de ST, **ou** <3 MPN.g⁻¹ de ST
- 6 alternativas de processos de redução de patógenos para atender aos requisitos de lodo Classe A.
 - i. Tratamento térmico: 4 regimes tempo – temperatura (ST ≥7% e ST< 7%)
 - ii. pH elevado – temperatura elevada (pH > 12 / 72 hs; > 52 °C / 12 hs; secagem ao ar livre: sólidos > 50%
 - iii. Outro tipo de processo: demonstrar que o processo pode reduzir vírus entéricos ou ovos viáveis de helmintos:
 - < 1 UFP vírus entéricos.4 g⁻¹ de ST
 - < 1 ovo viável de helminto.4g⁻¹ de ST

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE A

iv. Processo de tratamento não conhecido

< 1.000 NMP. g⁻¹ de ST, **ou** <3 MPN.g⁻¹ de ST

< 1 PFU vírus entéricos.4 g⁻¹ de ST

< 1 ovo viável de helminto.4g⁻¹ de ST

análises: uso ou disposição, venda ou doação

v. Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP)

iv. Processos Equivalentes ao PRAP

Tratamento do lodo por um processo equivalente à um dos PRAPs, de acordo com a autoridade competente

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE A

Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP)

1. Compostagem
2. Secagem térmica direta ou indireta
3. Tratamento térmico
4. Digestão aeróbia termofílica com ar ou oxigênio
5. Irradiação com raios beta
6. Irradiação com raios gama
7. Pasteurização

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE B

Lodo Classe B pode conter alguns patógenos

PORTANTO

Os requisitos de aplicação de lodo B no solo incluem restrições de local que impedem a colheita, pastagem de animais e acesso público por um determinado período de tempo até que as condições ambientais tenham reduzido os patógenos **abaixo do limite de detecção antes do contato com o público.**

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE B
Alternativas para atender os requisitos de patógenos
para Lodo Classe B

1. Coliforme fecal: $<2.10^6$ MPN g⁻¹ST ou UFC g⁻¹ST, no momento do uso ou disposição (média geométrica de 7 amostras)
2. Processo de Redução Significativo de Patógenos (PRSP)
3. Tratamento do lodo por um processo equivalente à um dos PRSPs, de acordo com a autoridade competente

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE B

Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRAP)

- 1. Digestão aeróbica** (40 dias - 20°C; 60 dias - 15°C)
- 2. Secagem em leitos de areia ou em bacias**
pavimentadas ou não (≥ 3 meses; pelo menos 2 meses $> 0^\circ\text{C}$)
- 3. Digestão anaeróbica** (15 dias – 35-55°C; 60 dias - 20°C)
- 4. Compostagem** (5 dias - $> 40^\circ\text{C}$: 4 horas $> 55^\circ\text{C}$)
- 5. Estabilização com cal** (pH 12 após 2 horas de contato)

USEPA, 40 CFR Part 503 - LODO CLASSE B

RESTRIÇÕES DE LOCAIS

1. Cultura de alimentos:

- a. Acima do solo: colheita 14 meses após a aplicação
- b. Abaixo do solo: colheita 20 meses se o lodo não foi incorporado por mais de 4 meses
- c. Abaixo do solo: colheita 38 meses se o lodo não foi incorporado por menos de 4 meses

2. Culturas cuja parte comestível não entram em contato com o lodo e mistura lodo solo: colheita 30 dias após aplicação

3. Pastagem de animais: 30 dias após aplicação

4. Gramado/Relva – colheita 1 ano após a aplicação

5. Acesso ao público:

- a. Alta frequência: 1 ano após a aplicação
- b. Baixa frequência: 30 dias após a aplicação

DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO DE LODO NA REDUÇÃO DE PATÓGENOS

(expressa em log na base 10)

Tratamento PRSP ^a	Bactéria	Vírus	Parasita (protozoário/ helminto)
Digestão anaeróbica	0.5 - 4	0.5 - 2	0,5
Digestão aeróbica	0.5 - 4	0.5 - 2	0,5
Compostagem	2 - 4	2 - 4	2 - 4
Secagem em leito de areia	0.5 - 4	0.5 - 4	0.5 - 4
Estabilização com cal	0.5 - 4	4	0,5

^a Processo para Redução Significativa de Patógenos

FONTE: USEPA, Environmental Regulations Rechnology. Control of pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge . EPA/625/R-92/013. July, 2003

EFICÁCIA RELATIVA DE DIFERENTES MÉTODOS DE TRATAMENTO DE LODO DE ESGOTO NA REDUÇÃO DO NÚMERO DE DIFERENTES PATÓGENOS OU EM SEU PERÍODO DE SOBREVIVÊNCIA

PROCESSO	REDUÇÃO RELATIVA		
	BOA	MODERADA	RUIM
Lodo bruto		Vírus, bactéria	<i>Ascaris</i> , <i>Taenia</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Digestão	Vírus, <i>Entamoeba</i> , <i>Cryptosporidium</i>	<i>Ancilostoma</i> , Bactéria, ovo <i>Taenia</i>	<i>Ascaris</i>
Compostagem	Vírus, Bactéria, Fungo, Helminto		
Tratamento com cal	Bactéria		<i>Ascaris</i>
Tratamento térmico	Vírus, Bactéria, <i>Cryptosporidium</i> , Helminto		
Irradiação	Vírus, Bactéria	<i>Ascaris</i>	

Fonte: Smith, S.R. (1996) Agricultural Use of Sewage Sludge and the Environment. CAB International, Wallingford, UK.

GUIDELINES FOR THE SAFE APPLICATION OF BIOSOLIDS TO LAND IN NEW ZEALAND, 2003

DECISÃO

GRAU DE ESTABILIZAÇÃO

Concentração de patógenos, tipo de tratamento, etc

GRAU DE CONTAMINAÇÃO

Presença e concentração de contaminantes químicos

GUIDELINES FOR THE SAFE APPLICATION OF BIOSOLIDS TO LAND IN NEW ZEALAND, 2003

CLASSIFICAÇÃO DOS BIOSÓLIDOS

GRAU DE ESTABILIZAÇÃO	GRUA DE CONTAMINAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO BIOSÓLIDO	USOS PERMITIDOS
A	a	Aa	Uso irrestrito (fertilizante)
A	b	Ab	Uso restrito Avaliação Conselho Regional para liberação uso
B	a	Ba	
B	b	Bb	

GUIDELINES FOR THE SAFE APPLICATION OF BIOSOLIDS TO LAND IN NEW ZEALAND, 2003

Requerimentos de Estabilização

GRAU	PROCESSO DE REDUÇÃO DE PATÓGENOS	PADRÃO PARA PATÓGENO NO PRODUTO
A	1. Tempo – temperatura (a) $\geq 7\%$ ST } Térmico (b) $< 7\%$ ST (c) Compostagem	Amostragem de verificação: <ul style="list-style-type: none"> • <i>E.coli</i>: < 100 NMP/g ST • <i>Campilobacter</i>: $< 1/25$g ST • <i>Salmonella</i>: $< 1/25$g ST • Vírus entéricos: $< 1/4$g ST • Ovos de helmintos $< 1/4$ g ST Monitoramento de rotina <i>E.coli</i> : $< 100/$ g ST
	2. pH elevado – temperatura elevada	
	3. Outros Processos :Demonstração que os níveis de patógenos de Grau A podem ser consistentemente atendidos	
B	Estocagem / restrição de acesso dependendo do uso final	Não aplicável

PROCESSO DE GARANTIA DA QUALIDADE ACREDITADO

ATENDIMENTO A PELO MENOS UM DOS MÉTODOS DE REDUÇÃO DE ATRATIVIDADE DE VETORES (RAV)

GUIDELINES FOR THE SAFE APPLICATION OF BIOSOLIDS TO LAND IN NEW ZEALAND, 2003

FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

GRAU	TIPO DE MONITORAMENTO	FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	PARÂMETROS
A	Verificação do Produto	≥15 amostras / mês, durante 3 meses: ≤ 3 resultados desconformes. > 3 resultados desconformes, as 15 amostras consecutivas devem atender ao padrão.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E.coli</i> • <i>Campilobacter</i> • <i>Salmonella</i> • Vírus entéricos • Ovos helmintos • RAV
	Amostragem de rotina	≥ 1 amostra por semana	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E.coli</i> • RAV
B	Verificação do Produto	Não se aplica	<ul style="list-style-type: none"> • RAV
	Amostragem de rotina	Não se aplica	<ul style="list-style-type: none"> • RAV

RAV: Redução de Atratividade de Vetores

NRMMC GUIDELINES FOR SEWERAGE SYSTEMS BIOSOLIDS MANAGEMENT, AUSTRÁLIA 2004

NÍVEL DE PATÓGENO	PROCESSO APROVADO	CRITÉRIO MICROBIOLÓGICO (ST)
<p>Grau P1. Níveis muito baixos de patógenos com risco mínimo de potencial de recrescimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compostagem • pH e temperatura elevados • Secagem térmica (ST 90%) • Longo período de estocagem • Outros Processos* 	<p><1 <i>Salmonella</i> / 50 g <100 <i>E. coli</i> (ou coliforme termotolerante)/ g *100% de inativação de ovos de <i>Ascaris</i> ou <i>Taenia</i> e <1 UFP de vírus entérico/100g</p>
<p>Grau P2. Baixos níveis de patógenos, mas com algum potencial de recrescimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compostagem • Secagem térmica (ST 75%) • Digestão termofílica aeróbia • Outros processos: p.ex. Armazenamento/Estocagem 	<p><10 <i>Salmonella</i> / 50 g <1000 <i>E. coli</i> (ou coliforme termotolerante)/ g</p>

NRMMC GUIDELINES FOR SEWERAGE SYSTEMS BIOSOLIDS MANAGEMENT, AUSTRÁLIA 2004

NÍVEL DE PATÓGENO	PROCESSO APROVADO	CRITÉRIO MICROBIOLÓGICO (ST)
<p>Grau P3 Processos de redução significativa de patógenos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Digestão aeróbia • Digestão anaeróbia • Compostagem • Outros processos* 	<p><2.000.000 <i>E. coli</i> (ou coliforme termotolerante)/ g</p> <p>*Critério determinado pela Autoridade Reguladora</p>
<p>Grau P4 Redução mínima de patógenos</p>	<p>Processo de estabilização que não atenda aos critérios microbiológicos acima e outras condições</p>	<p>Não se aplica</p>

Table 3 Biosolids grading, uses and management controls.

[This table is adapted from numerous sources including: for Grade C1 NEPC (1999) National Environmental Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999, Schedule B (1) Guideline on the Investigation Levels for Soil and Groundwater.

For Grade C2 collectively from values derived from the NEPC (1999) NEPM on Site Contamination EPA NSW (1997) 'Use and Disposal of Biosolids Products'; ARMCANZ Water Technology Committee (1995) Occasional Paper WTC No. 1/95; *Guidelines for Sewerage Systems - Biosolids Management*.

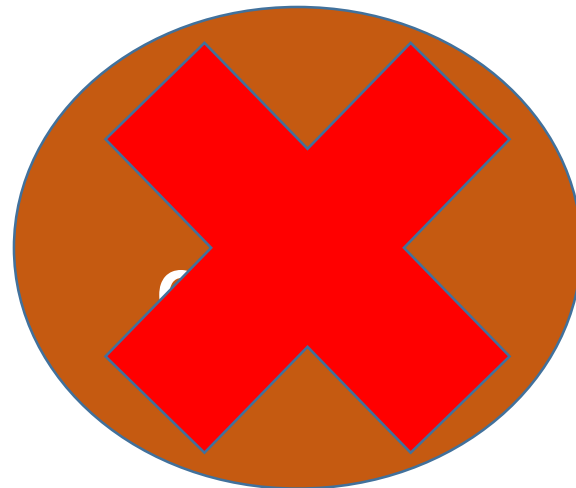
Consideration was also given to relevant research and literature and State/Territory practices and State/Territory guidelines].

<i>Allowable Biosolids Use</i>	<i>Pathogen Grade Table 1</i>	<i>Chemical Contaminant Grade/Level Table 2</i>	<i>Leachate Test e.g. TCLP¹ or AS 4439</i>	<i>Maximum Soil Contaminant Level Table 2</i>	<i>Application Rate</i>	<i>Soil Controls</i>	<i>Land Use Controls</i> ²
Unrestricted all appropriate uses including residential.	P1	C1	N/A	C1	N/A	N/A	N/A
Agriculture (Salad plants and root crops)	P2	C2	N/A	C1	Calculated to meet crop nutrient requirements and ensure Maximum Soil Contaminant levels are not reached.	Soil pH controls, to minimise metal uptake by plants.	Land use maintained in stated category (i.e. biosolids should not lead to a limitation on the land use). Biosolids to be incorporated into the soil within 36 hours of spreading. A suitable withholding period should be observed post biosolids application before crops are harvested or animals are allowed to graze.
(Crops consumed cooked/processed, grazing animals, dairy cattle pasture and fodder).	P3	C2	N/A	C1			
Institutional Landscaping Recreational.	P1	C2	N/A	C1	"		Land use maintained in stated category (i.e. biosolids should not lead to a limitation on the land use). Biosolids to be incorporated into the soil within 36 hours of spreading.
Institutional Landscaping Non Recreational.	P3	C2	N/A	Subject to approval by the regulator on case by case basis.	"	Soil pH Controls.	Land use maintained in stated category (i.e. biosolids should not lead to a limitation on the land use).

BRASIL - RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006

Regulamentação do uso agrícola de lodo de esgoto

Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.



BRASIL - RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006

CRITÉRIOS DE CLASIFICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

Lodo Classe A:

Coliformes termotolerante: 1.000 NMP / g ST

Vírus: < 0,25 PFU / g ST

Ovos viáveis de helmintos: < 0,25 / g ST

Salmonella: ausência / 10 g ST

Processos de redução adicional de patógenos (USEPA Rule 503)

Lodo Classe B

Coliformes termotolerantes: < 10^6 / g ST

Ovos viáveis de helmintos: < 10 / g ST

Processos de redução significativa de patógenos (USEPA Rule 503)

SEÇÃO IV DAS CULTURAS APTAS A RECEBEREM LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO

- Art 12. ***Proibição em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.***

§ 1o Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, as ***pastagens*** poderão ser implantadas após um ***período mínimo de 24 meses da última aplicação.***

§ 2o Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, somente poderão ser ***cultivadas olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis,*** após um período mínimo de ***48 meses da última aplicação.***

- Art. 13. Lodos de esgoto ou produto derivado enquadrados como classe A poderão ser utilizados para quaisquer culturas, respeitadas as restrições previstas nos arts. 12 e 15 desta Resolução.
- Art. 14. A utilização de lodo de esgoto ou produto derivado enquadrado como classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitadas as restrições previstas no art. 15 e no inciso XI, do art. 18 desta Resolução

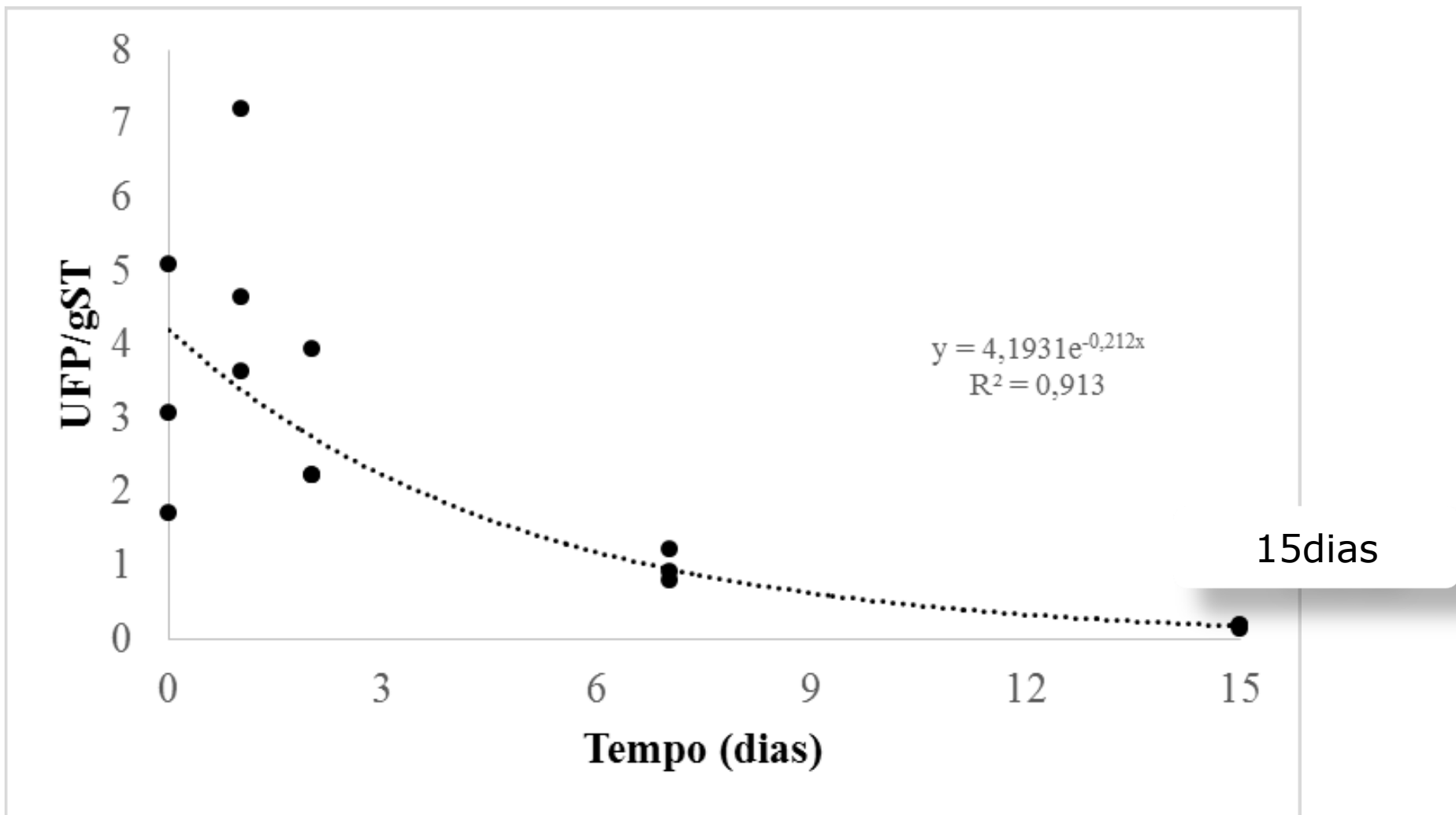
REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006

CRITÉRIOS MICROBIOLÓGICOS



- Lodo Classe B – Temos segurança científica para reincorporar essa classe na Resolução?
- O manejo e mercado para Lodo de classe B é viável?
- A aplicação dos critérios de processos de redução de patógenos da “USEPA Rule 503” são suficientes para garantir que os lodos de classe A e B produzidos no Brasil não apresentem riscos à saúde?
- A aplicação de critérios que consideram a verificação da eficiência e estabilidade dos processos de tratamento e o monitoramento do produto final, não seriam mais adequados para a nossa realidade?
- É necessário manter o monitoramento de vírus entéricos para lodos classe?
- É possível flexibilizar as restrições de uso dos solos que receberam lodo classe A e B?

DECAIMENTO DE *Enterovirus* (UFP gST⁻¹) - LODO DE ESGOTO ETE PIRACICAMIRIM PLANTAÇÃO DE EUCALIPTO



PERGUNTAS?



Maria Inês Zanoli Sato
Departamento de Análises Ambientais _ CETESB
misato@sp.gov.br

Microrganismos Patogênicos e Indicadores em Lodo Secundário

Tipo	Organismo	Densidade (Nº/g peso seco)
Vírus	Vários vírus entéricos	3×10^2
Bactéria	Coliformes totais Coliformes termotolerantes Estreptococos fecais <i>Salmonella</i> sp	7×10^8 8×10^6 2×10^2 9×10^2
Protozoário	<i>Giardia</i> sp	10^2 - 10^3
Helmintos	<i>Ascaris</i> sp <i>Trichiuris</i> vulpis <i>Toxocara</i> sp	1×10^3 $< 10^2$ 3×10^2

Fonte: Maier, R.M; Pepper, I.L. & Gerba, P.- Environmental Microbiology. Academic Press, 2000. 516p.

Sobrevivência de patógenos em lodo úmido em temperatura ambiente*

MICROORGANISMO	CLIMA TEMPERADO (umidade baixa, 10-15°C)	CLIMA TROPICAL (umidade alta, 20-30°C)
VIRUS	<100	<20
BACTÉRIA		
<i>Salmonella</i>	<100	<30
Coliforme fecal	<30	<5
<i>V.cholerae</i>	<150	<50
PROTOZOÁRIOS (cistos de ameba)	<30	<15
HELMINTOS		
Ovos de <i>Ascaris</i>	2-3 anos	10-12 meses
Ovos de <i>Taenia</i>	12 meses	6 meses

*Quando expostos a secagem ao sol, o período de sobrevivência é menor